

SPIS TREŚCI

Wstęp	9
1. Wprowadzenie do problematyki zdarzeń powodziowych	15
1.1. Podstawowe pojęcia i definicje	15
1.2. Parametry hydrometryczne wykorzystywane do opisu zdarzeń powodziowych	21
1.3. Dorzecze Odry	23
1.3.1. Charakterystyka obszaru	23
1.3.2. Zdarzenia powodziowe w dorzeczu Odry – rys historyczny	26
1.4. Straty środowiskowe, społeczne i gospodarcze spowodowane przez powódź.....	28
1.5. Źródła finansowania nakładów na przeciwdziałanie powodziom i likwidację ich skutków	33
2. Wybrane aspekty ryzyka powodziowego	39
2.1. Ryzyko powodziowe	39
2.2. Przepisy prawne.....	42
2.2.1. Ramowa dyrektywa wodna	43
2.2.2. Dyrektywa powodziowa.....	43
2.2.3. Prawo wodne	46
2.3. Proces zarządzania ryzykiem powodziowym i jego cele	49
2.4. Analiza strategii minimalizacji ryzyka powodziowego	52
2.5. Analiza ekonomiczna ryzyka powodziowego	55
3. Monitorowanie ryzyka powodziowego w idei zrównoważonego	60
3.1. Zrównoważony rozwój – podstawy i ogólne założenia	60
3.2. Miejsce monitorowania ryzyka powodziowego w idei zrównoważonego rozwoju	69
4. Teoria wartości ekstremalnych – wybrane zagadnienia	80
4.1. Teoria wartości ekstremalnych i jej zastosowanie	80
4.2. Metody wizualizacji rozkładów empirycznych dla maksimów.....	86

4.3.	Maksima i metoda blokowa	89
4.4.	Rozkłady wartości maksymalnych.....	91
4.5.	Metody estymacji i testy zgodności.....	95
5.	Modelowanie ryzyka powodziowego dla wybranych obszarów	102
5.1.	Dane hydrologiczne wykorzystane w badaniach	102
5.2.	Teoretyczne i empiryczne rozkłady wartości maksymalnych	104
5.3.	Szacowanie miary ryzyka powodziowego i jego ocena	110
5.3.1.	Punkt pomiarowy na rzece Odra w miejscowości Malczyce	112
5.3.2.	Punkt pomiarowy na rzece Bóbr w miejscowości Żagań.....	115
5.3.3.	Punkt pomiarowy na rzece Bystrzyca w miejscowości Bystrzyca Kłodzka.....	116
5.3.4.	Punkt pomiarowy na rzece Czerna Wielka w miejscowości Żagań	117
5.3.5.	Punkt pomiarowy na rzece Kwisa w miejscowości Leśna.....	117
5.3.6.	Punkt pomiarowy na rzece Nysa Kłodzka w miejscowości Nysa....	118
5.3.7.	Punkt pomiarowy na rzece Oława w miejscowości Oława	119
5.4.	Analiza dynamiki ryzyka powodziowego dla badanych obszarów	121
5.4.1.	Punkt pomiarowy na rzece Odra w miejscowości Malczyce	122
5.4.2.	Punkt pomiarowy na rzece Bóbr w miejscowości Żagań.....	123
5.4.3.	Punkt pomiarowy na rzece Bystrzyca w miejscowości Bystrzyca Kłodzka.....	124
5.4.4.	Punkt pomiarowy na rzece Czerna Wielka w miejscowości Żagań	124
5.4.5.	Punkt pomiarowy na rzece Kwisa w miejscowości Leśna.....	125
5.4.6.	Punkt pomiarowy na rzece Nysa Kłodzka w miejscowości Nysa....	126
5.4.7.	Punkt pomiarowy na rzece Oława w miejscowości Oława	127
5.5.	Ekonomiczne aspekty modeli probabilistycznego pomiaru i oceny ryzyka powodziowego	128
Zakończenie	132	
Aneks.....	139	
Bibliografia	222	
Spis rysunków	232	
Spis tabel	233	
Summary	234	

WSTĘP

Człowiek jako jednostka z natury wyposażona w rozwinięty aparat poznawczy przejawia dużo większe zainteresowanie zjawiskami przebiegającymi w sposób nieprzewidywalny niż takimi, których antycypacja jest oparta na racjonalnych przesłankach. Dlatego ekstremalne zjawiska pogodowe, takie jak huragany, susze czy powodzie, zawsze budziły w ludziach niepokój, a zarazem zainteresowanie. Na przebieg zdarzeń o charakterze ekstremalnym wpływ mają wartości określonych charakterystyk, które odpowiadają za występowanie tych zjawisk w różnych dziedzinach i obszarach życia. Te ekstremalne wartości to zarówno maksima, jak i minima. Wpływ czynników ekstremalnych na różne dziedziny życia w większości przypadków jest negatywny. Obserwujemy to m.in. w takich obszarach, jak ekonomia (ze szczególnym uwzględnieniem rynków finansowych i ubezpieczeń), gospodarka i działalność produkcyjna, meteorologia oraz hydrologia czy medycyna.

Zjawiska ekstremalne zachodzące w środowisku powodują bardzo często poważne skutki ekonomiczne i społeczne. W tym kontekście interesujące jest to, czy częstotliwość i skala zdarzeń i zjawisk ekstremalnych zmieniała się w przeszłości i czy będzie zmieniała się w przyszłości, jaki był i będzie kierunek tych zmian oraz jaki wpływ te zmiany będą wywierać na jakość życia ludzi?

Wystąpienie powodzi pociąga za sobą wiele strat w sferze ekonomicznej, społecznej oraz ekologicznej. Dlatego powódź jest traktowana jako zjawisko hydrologiczne o znaczeniu społeczno-ekonomicznym i należy do zdarzeń ekstremalnych. Zagrożenie powodziowe może mieć pochodzenie naturalne, niezależne od działalności człowieka, oraz antropogeniczne, czyli takie, na które człowiek może w pewnym stopniu oddziaływać. Zagrożenia pochodzenia naturalnego mają związek wyłącznie z siłami natury, dlatego człowiek może jedynie je monitorować oraz podejmować działania mające na celu łagodzenie ich skutków. Sferę zagrożenia pochodzenia antropogenicznego zaś można kontrolować i minimalizować, stosując odpowiednie działania, opisane również w niniejszej pracy.

Zagrożenie pochodzenia antropogenicznego związane jest z wieloletnią działalnością ekonomiczną człowieka na Ziemi. Działalność ta miała i ma istotny wpływ na charakter wielu procesów meteorologicznych, hydrologicznych i geofizycznych. Przejawia się on w zmianach intensywności, skali i częstości tych procesów. Dodatkowo powoduje powstanie zjawisk bezpośrednio związanych z działalnością człowieka. Jednym z nich są powodzie. A zatem należy podkreślić, że za przebieg

i skutki zdarzeń ekstremalnych, do których należą powodzie, w znacznym stopniu odpowiedzialni są ludzie.

Powodzie rzeczne jako ekstremalne zjawiska hydrologiczne zostały powszechnie uznane za jedno z głównych niebezpieczeństw obecnych czasów w regionie Europy Środkowej. Choć ekstremalne zjawiska hydrologiczne nie mają w Polsce tak wielkich rozmiarów i groźnych skutków, jak ma to miejsce w innych częściach świata, to w ostatnich dwudziestu latach Polska kilkakrotnie zmagą się z tymi kataklizmami, które to spowodowały poważne straty dla gospodarki oraz życia i zdrowia ludności. Największe z nich miały miejsce w latach 1997 i 2010.

Jednym z regionów kraju, który najbardziej ucierpiał wskutek tych zjawisk ekstremalnych, jest Dolny Śląsk. Właśnie ten region Polski w dużej części pokrywa się z obszarem dorzecza środkowej Odry, poddany badaniu w niniejszej pracy. Powodzie, które wystąpiły w latach 1997 i 2010, przyczyniły się do znacznych i trudnych do oszacowania strat o charakterze społecznym i ekonomicznym. Awaryjne zabiegi, jakie zostały zastosowane w obliczu zbliżającej się fali powodziowej ze względu na presję czasu, polegały między innymi na budowie tymczasowych barier zabezpieczających, natychmiastowym usunięciu płynących przeszkód napierających na mosty oraz ewakuacji ludności z obszarów bezpośrednio zagrożonych.

Jednym z miast, które najbardziej ucierpiały podczas powodzi latem 1997 r., jest Wrocław – stolica Dolnego Śląska. Znacznego uszczerbku doznały między innymi budowle historyczne (kościóły i mosty), budynki użyteczności publicznej (szkoły, urzędy, hotele), budynki mieszkalne, a nawet całe osiedla oraz obiekty komunalne (zakłady wodociągowe, oczyszczalnie ścieków).

W Europie Środkowej po uznaniu powodzi rzecznych za jedno z podstawowych zagrożeń obecnych czasów ustalono, że skuteczna ochrona przed ich skutkami wymaga odpowiednich przedsięwzięć w zakresie planowania działań związanych z ochroną przeciwpowodziową. Do zabiegów ochronnych, które mogą ograniczyć konsekwencje powodzi, należą m.in.: konserwacja i renowacja obszarów zalewowych, a także modyfikacja głębokości i szerokości kanałów rzecznych. Ponieważ wymienione zabiegi oraz inne działania bezpośrednio o podobnym charakterze należą do inwestycji bardzo kosztownych, decyzje władz terytorialnych dotyczące informacji, które obszary rzeczne, w jakiej kolejności i w jakim stopniu należy poddać zabiegom ochronnym, powinny być oparte na precyzyjnym pomiarze i ocenie ryzyka powodziowego, z uwzględnieniem społecznych i ekonomicznych konsekwencji powodzi na danym obszarze oraz przewidywanych strat wywołanych jej wystąpieniem. Opisane powyżej działania związane z pomiarem, oceną oraz minimalizacją ryzyka wystąpienia powodzi wpisują się w szeroko pojmowaną koncepcję zrównoważonego rozwoju.

Unia Europejska podjęła wiele kroków mających na celu przygotowanie państw członkowskich do walki z klęskami powodzi. Działania prewencyjne, mające swoje ekonomiczne i społeczne uzasadnienie, zostały przeniesione do prawodawstwa

unijnego w zakresie gospodarowania wodami (dyrektywa 2000/60/WE) i monitorowania ryzyka powodziowego (dyrektywa powodziowa 2007/60/WE). W wymienionych aktach prawnych Unia zobowiązała państwa członkowskie do podjęcia określonych działań mających na celu ograniczenie poziomu ryzyka powodziowego. Polska jako państwo członkowskie UE oraz kraj, który boryka się z problemami związanymi z powodzią oraz ich skutkami, uwzględniła powyższe zapisy w prawodawstwie krajowym, zwanym ustawą *Prawo wodne*.

Zagadnienie monitorowania ryzyka powodziowego ściśle wiąże się z pojęciem zarządzania ryzykiem powodziowym i jest elementem jego logicznego rozkładu. Zarządzanie ryzykiem powodziowym (*flood risk management*) jest zjawiskiem szeroko opisanym zarówno w dyscyplinie ekonomii, zarządzania, jak i w finansach (por. [Berbeka 2014; Lechowska 2017; Michalak 2015; Schanze 2006]). Jest także szeroko stosowane w literaturze spoza dziedziny ekonomii, np. w inżynierii środowiska (w dziedzinie nauk technicznych). Autor świadomy szerokiego znaczenia tego pojęcia w związku z celem niniejszej pracy i jej umiejscowieniem w dyscyplinie ekonomii koncentruje swą uwagę jedynie na procesie monitorowania ryzyka powodziowego, a określając to bardziej szczegółowo – na jego pomiarze i ocenie. Proces monitorowania ryzyka powodziowego jest bowiem częścią złożonego procesu zarządzania ryzykiem i jednocześnie częścią szerokiego pojęcia, jakim jest monitoring środowiska¹.

Studia literaturowe dotyczące badanego zagadnienia, których wyniki zostały zaprezentowane na początku czwartego rozdziału niniejszej monografii, pozwoliły na zidentyfikowanie wielu luk poznawczych o charakterze: teoretycznym, metodologicznym, empirycznym i aplikacyjnym.

Lukę teoretyczną dotyczącą definicji ryzyka powodziowego oraz probabilistycznej miary ryzyka opartej na rozkładzie maksymalnych wartości charakterystyk hydrologicznych zidentyfikowano, analizując literaturę przedmiotu. Stwierdzono także brak wykorzystania probabilistycznych modeli wartości ekstremalnych jako narzędzia wspierającego proces monitorowania ryzyka w ramach zarządzania ryzykiem powodziowym będącym integralną częścią złożonego procesu zrównoważonego rozwoju. W opracowaniach naukowych nie odnaleziono także wytycznych ani procedur szacowania ryzyka powodziowego na podstawie miar probabilistycznych oraz skali pomiarowej do jego oceny, co niewątpliwie stanowi lukę metodologiczną.

¹ Monitoring środowiska – badanie, analiza i ocena stanu środowiska przyrodniczego w celu obserwacji zachodzących w nim zmian. Może być prowadzony w skali globalnej (światowej), ogólnokrajowej i lokalnej. Obejmuje również prognozowanie zmian środowiska oraz ocenę skuteczności metod jego ochrony. Polega na ciągłych lub okresowo powtarzalnych pomiarach określonych parametrów fizycznych i obserwacji wybranych cech, właściwości wody, powietrza i gleby. Źródłem informacji o środowisku jest przede wszystkim państwowy monitoring środowiska (Dz.U. 2001.62.627, rozdz. 2), stanowiący system pomiarów, ocen i prognoz stanu środowiska oraz gromadzenia, przetwarzania i rozpowszechniania informacji o środowisku.

Kolejna stwierdzona luka poznawcza dotyczy niedostatków badań empirycznych w przedmiotowej materii. Brakuje kompleksowych badań o charakterze naukowym dla określonych obszarów dotyczących pomiaru i oceny probabilistycznego ryzyka powodziowego z wykorzystaniem teorii wartości ekstremalnych dla danych zarówno miesięcznych, jak i kwartalnych, a także uwzględniających czynnik sezonowy w pomiarach. Dodatkowo w ramach tej luki stwierdzono brak pomiaru dynamiki ryzyka powodziowego opartego na miarach probabilistycznych.

W literaturze przedmiotu brakuje również prezentacji możliwości zastosowania modeli probabilistycznego pomiaru ryzyka powodziowego dla konkretnych instytucji państwowych na potrzeby wsparcia działań wynikających z obowiązków związanych z ochroną przeciwpowodziową, jak również innych instytucji pozapaństwowych, takich jak np. zakłady ubezpieczeniowe. Te braki stanowią lukę aplikacyjną. Prezentowane w literaturze przedmiotu zastosowania rozkładów maksimów do oceny zjawisk powodziowych nie stanowią kompleksowych modeli pomiarowych ani nie dostarczają gotowych narzędzi możliwych do wykorzystania przez określone instytucje.

Ze względu na przedstawioną problematykę monitorowania ryzyka powodziowego zasadne wydaje się postawienie następującego problemu badawczego: w jaki sposób, realizując określone cele koncepcji zrównoważonego rozwoju, precyzyjnie mierzyć i oceniać ryzyko powodziowe, wykorzystując parametry hydrometryczne w postaci przepływów i stanów wód.

W celu znalezienia rozwiązania autor przeprowadził badania empiryczne, opierając się na danych dotyczących parametrów hydrometrycznych, pochodzących z wybranych punktów pomiarowych zlokalizowanych na obszarze dorzecza środkowej Odry.

W pracy postawione zostały cztery hipotezy badawcze:

H1: Rozkłady maksymalnych wartości parametrów hydrometrycznych są precyzyjnym, z punktu widzenia dopasowania ich do rozkładów empirycznych tych parametrów, narzędziem do pomiaru i oceny poziomu ryzyka powodziowego.

H2: Metoda probabilistycznego pomiaru ryzyka powodziowego daje możliwość określenia tendencji (rosnących lub malejących) poziomu ryzyka powodziowego w badanym okresie.

H3: W kontekście zrównoważonego rozwoju pomiar poziomu ryzyka powodziowego jest koniecznym elementem w procesie jego monitoringu.

H4: Probabilistyczny pomiar ryzyka powodziowego, oparty na rozkładach maksymalnych wartości parametrów hydrometrycznych, ma charakter uniwersalny i może być stosowany w odniesieniu do różnych cieków wodnych.

Hipotezy badawcze weryfikowane są przez realizację nadrzędnego celu pracy wraz z celami szczegółowymi.

Nadrzędnym celem pracy jest probabilistyczny pomiar i ocena dynamiki poziomu ryzyka powodziowego w wybranych punktach obszaru dorzecza środkowej Odry na podstawie dostępnych danych hydrometrycznych. Determinuje on następujące cele szczegółowe:

Cel 1. Opracowanie narzędzia w postaci dwuparametrycznego modelu do pomiaru i oceny ryzyka powodziowego.

Cel 2. Ocena poziomu zagrożenia powodziowego na wybranych obszarach oraz uporządkowanie ich według poziomu tego zagrożenia.

Cel 3. Pomiar dynamiki ryzyka zagrożenia powodziowego dla każdego z badanych obszarów oraz określenie tendencji zmian poziomu ryzyka w analizowanych okresach.

Cel 4. Identyfikacja miejsca monitoringu (pomiaru i oceny) ryzyka powodziowego w kompleksowym procesie zrównoważonego rozwoju.

Cel 5. Przeprowadzenie ekonomicznej analizy ryzyka powodziowego.

Cel 6. Pokazanie ekonomicznych aspektów probabilistycznych modeli ryzyka powodziowego.

W ramach realizacji celu nadrzędnego oraz celów szczegółowych wyznaczono następujące zadania badawcze:

1) umiejscowienie pomiaru i oceny ryzyka powodziowego w procesie zarządzania ryzykiem powodziowym (podrozdział 2.3);

2) przedstawienie dwuparametrycznego modelu do pomiaru ryzyka powodziowego opartego na probabilistycznych miarach pochodzących z rozkładów maksymów parametrów hydrometrycznych (podrozdziały 2.1 i 5.2);

3) ocena efektywności prezentowanych narzędzi pomiaru poziomu ryzyka (podrozdział 5.2);

4) opracowanie skali pomiarowej dla probabilistycznych miar poziomu ryzyka powodziowego (podrozdział 5.3);

5) opracowanie algorytmicznej procedury probabilistycznego pomiaru ryzyka powodziowego (podrozdział 5.3);

6) ocena dynamiki ryzyka powodziowego w dorzeczu środkowej Odry z wykorzystaniem rozkładów maksymów charakterystyk hydrometrycznych (podrozdział 5.4);

7) pomiar poziomu ryzyka zagrożenia powodziowego z uwzględnieniem czynnika sezonowości (podrozdział 5.3);

8) analiza porównawcza poziomów ryzyka powodziowego oraz jego dynamiki na ujętych w badaniu obszarach (podrozdziały 5.3 i 5.4).

W pracy podjęto próbę pomiaru i oceny dynamiki ryzyka powodziowego z wykorzystaniem wybranych zagadnień z obszaru probabilistycznej teorii wartości ekstremalnych, a dokładnie rozkładów maksymów dwóch parametrów hydrometrycznych: przepływów i stanów wody. Badania przeprowadzone zostały na danych

pochodzących z siedmiu wybranych punktów pomiarowych zlokalizowanych na obszarze dorzecza środkowej Odry.

Na potrzeby pomiarów ryzyka powodziowego wykorzystujących rozkłady wartości maksymalnych wprowadzono: autorską definicję ryzyka powodziowego wraz z probabilistycznymi miarami, skalę poziomów tego ryzyka oraz opracowano algorytmiczną procedurę szacowania tej miary.

Prezentowane w monografii modele probabilistycznego pomiaru ryzyka powodziowego przedstawione są jako narzędzia wspierające proces monitorowania ryzyka powodziowego i pokazane jest ich miejsce oraz znaczenie w procesie zarządzania ryzykiem. Proces zarządzania ryzykiem zaś jest przedstawiony jako integralna część złożonego procesu rozwoju zrównoważonego, który w niniejszej pracy omawiany jest tylko w tym zakresie.